نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵، ص. ۱۲۰۱-۱۱۹۲

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct. 2016, p. 1192-1201

رابطه شاخص گنجایش انتگرالی آب با برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در استان خراسان‌رضوی

مهدی زنگی‌آبادی[۱]- منوچهر گرجی اناری[۲*]- مهدی شرفا[۳]- سعید خاوری خراسانی[۴]- سعید سعادت[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۳

چکیده

خاک اصلی‌ترین منبع آب جهت جذب توسط گیاه بوده و میزان قابلیت استفاده آب توسط گیاه کاملاً تابع ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد. کمبود آب و فقر کربن‌آلی در خاک‌های ایران، لزوم مطالعه بیشتر روابط آب، خاک و گیاه جهت بهبود مدیریت مصرف آب در تولیدات کشاورزی را توجیه می‌نماید. بر این اساس مطالعه حاضر طی سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ با هدف بررسی رابطه ویژگی‌های مختلف فیزیکی خاک با شاخص گنجایش انتگرالی آب، به عنوان یکی از شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق در استان خراسان‌رضوی انجام شد. در این مطالعه پس از انجام نمونه‌برداری‌های لازم از خاک ۳۰ نقطه ایستگاه با بافت متوسط رو به سبک و ماده آلی متفاوت و انجام اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و صحرایی لازم، ضرایب منحنی رطوبی، تخلخل، گنجایش هوایی، ظرفیت مزرعه نسبی و شاخص گنجایش انتگرالی آب محاسبه شد و در نهایت رابطه آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با شاخص گنجایش انتگرالی آب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از اجزاء تشکیل‌دهنده بافت و همچنین محتوای کربن‌آلی خاک تأثیر معنی‌داری بر شاخص گنجایش انتگرالی آب نداشتند اما جرم مخصوص ظاهری و ظرفیت مزرعه نسبی دارای ضریب همبستگی منفی و معنی‌دار با مقدار این شاخص بودند. نتایج حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار تخلخل کل، گنجایش هوایی کل و گنجایش هوایی خلل و فرج ریز بر مقدار این شاخص بود. نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد که گنجایش هوایی کل و تخلخل کل خاک با ضرایب مثبت و معنی‌دار و با ضریب تبیین ۰/۶۳ تغییرات شاخص گنجایش انتگرالی آب را کنترل نمودند.

واژه‌های کلیدی: تخلخل، شاخص فیزیکی، ظرفیت مزرعه نسبی،گنجایش انتگرالی آب، گنجایش هوایی

مقدمه

خاک به عنوان منبعی از عناصر غذایی و آب، یک محیط فوق العاده پیچیده است که دائماً در بعد زمان و مکان در حال تغییر بوده و به سادگی به‌وسیله نوع مدیریت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. کیفیت خاک[۶] و ارزیابی آن را می‌توان به عنوان شاخصی جامع برای مدیریت پایدار اراضی در نظر گرفت، چون این ویژگی منعکس‌کننده کیفیت زیست محیطی، امنیت غذایی و رشد اقتصادی می‌باشد (۸). کیفیت خاک عبارت است از توانایی یک خاک مشخص در محدوده مرزهای زیست‌بوم طبیعی یا مدیریت شده جهت حفظ تولید گیاه و دام، ارتقاء کیفیت آب و خاک و حفظ سلامت و زیست بوم انسان (۱). کیفیت خاک از مؤلفه‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی تشکیل شده است که به طور کامل از یکدیگر قابل تفکیک نیستند (۱۳)، لذا ارزیابی این خصوصیت جامع به دلیل تعدد شاخص‌های آن در حوزه-های مختلف و عدم سهولت اندازه‌گیری بعضی از شاخص‌ها، کار دشواری است. بر این اساس محققین به طور جداگانه به بررسی و ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک در حوزه‌های مختلف تخصصی پرداخته‌اند. با توجه به تغییرات مکانی خاک، کمی‌سازی تغییرات کیفیت خاک فقط در شرایطی که تغییرات در ویژگی‌های یک خاک خاص بررسی شود، امکان‌پذیر است. داسیلوا و کی (۴) اظهار می‌دارند که کیفیت فیزیکی خاک یک عنصر مهم پایداری و به تبع آن پویا است. مفهوم کیفیت فیزیکی خاک از اوایل دهه ۱۹۹۰ مورد بحث و بررسی قرار گرفته و در حال حاضر نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(*- نویسنده مسئول: Email:mgorji@ut.ac.ir)
۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد
۵- استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج

6- Least Limiting Water Range (LLWR)

مباحث تحقیقاتی محسوب می‌گردد. تعامل و رابطه سه عنصر اصلی تولیدات گیاهی شامل آب، خاک و گیاه، پایه و اساس شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک به شمار می‌رود. خاک اصلی‌ترین منبع آب جهت جذب توسط گیاه می‌باشد. مدل‌ها و مطالعات مختلفی جهت تعیین آب قابل استفاده گیاه[1] در خاک وجود دارد. معروف‌ترین و آشناترین تعریف، متعلق به ویمیر و هنریکسون در سال‌های ۱۹۲۷، ۱۹۳۱ و ۱۹۴۹ می‌باشد که سالیان متمادی استفاده شده است و بیانگر میزان رطوبت خاک در حد فاصل بین ظرفیت مزرعه[2] و نقطه پژمردگی دائمی[3] می‌باشد (۲). این ویژگی فقط بر اساس انرژی (پتانسیل) آب خاک استوار است و دیگر ویژگی‌های فیزیکی خاک که جذب آب توسط گیاه و رشد ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در نظر نمی‌گیرد. بر این اساس شاخص کیفی دامنه رطوبتی بدون محدودیت[4] توسط لتی (۱۰) پیشنهاد شد و سپس توسط داسیلوا و همکاران (۵) به صورت شاخص کمی دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت[5] ارائه شد، که دو ویژگی فیزیکی محدودکننده شامل تهویه و مقاومت فروروی[6] خاک در مقابل نفوذ ریشه را با مقادیر بحرانی ویژه‌ای به عوامل رطوبت ظرفیت مزرعه و رطوبت نقطه پژمردگی دائم اضافه نمود، که معایب آب قابل استفاده با تعریف رایج را پوشش می‌داد. بر اساس نظر این محققین در این دامنه رطوبتی، محدودیت‌های رشد گیاه که با پتانسیل ماتریک، تهویه و مقاومت فروروی خاک ارتباط پیدا می‌کنند به صفر یا حداقل می‌رسد. حد بالایی این دامنه رطوبتی مقدار رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه (مکش ۱۰۰ یا ۳۳۰ سانتی‌متر) و یا مقدار رطوبت در نقطه تخلخل تهویه‌ای[7] ۱۰ درصد (هرکدام کمتر) و حد پائینی آن مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی دائم (مکش ۱۵۰۰۰ سانتی متر) یا در نقطه دارای مقاومت فروروی معادل ۲ مگا پاسکال (هرکدام بیشتر)، درنظر گرفته می‌شود. داسیلوا و کی (۳) معتقدند که رشد گیاه در تعامل با خصوصیات محیطی (اقلیم و بارندگی) در خاک‌هایی که این دامنه در آنها کوچک است بسیار آسیب پذیرتر از خاک‌های دارای دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت بزرگ‌تر می‌باشد. موضوع قابل توجه این است که در واقعیت، محدودیت‌های جذب آب مانند تهویه و مقاومت فروروی و به تبع آن میزان جذب آب توسط گیاه به صورت تدریجی و پیوسته با تغییرات مکش آب خاک تغییر می‌کند و به شکل مقطعی مانند آنچه در دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت در نظر گرفته شده است، نمی‌باشد (۲). بر این اساس و در جهت رفع ایراد ذکرشده، گرانولت و همکاران (۶) آب قابل استفاده و عوامل محدودکننده آن‌را به صورت تابعی پیوسته در نظر گرفتند و شاخص گنجایش انتگرالی آب[8] را به عنوان یک یافته جدید جهت تعیین آب قابل استفاده گیاه معرفی نمودند. در شاخص گنجایش انتگرالی آب، محدودیت‌های مختلف جذب آب شامل کمبود تهویه و زهکشی سریع بر اثر نیروی ثقل در سمت مرطوب منحنی رطوبی و هدایت هیدرولیکی کم و مقاومت فروروی زیاد خاک در مقابل نفوذ ریشه در سمت خشک منحنی رطوبی خاک در قالب توابع وزن‌دهی[9] پیوسته که مقادیر آنها تحت تأثیر مکش آب تغییر می‌کند، لحاظ می‌شوند. این محققین معتقدند که کاربرد توابع وزن‌دهی محدودیت‌های جذب آب در محاسبه آب قابل استفاده، روشی قابل انعطاف‌تر از روش رایج و یا روش دامنه رطوبتی با حداقل محدودیت می‌باشد.

نتایج مطالعه عسگرزاده و همکاران (۲) در خصوص بررسی میزان آب قابل استفاده گیاه با استفاده از تعاریف مختلف نشان می‌دهد که جرم مخصوص ظاهری خاک تأثیر منفی و معنی‌دار بر مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب دارد ولی رابطه معنی‌داری بین مقدار این شاخص با درصد رس و ماده آلی مشاهده نشد.

رینولدز و همکاران (۱۴) معتقدند که با وجود این‌که تهویه خاک نتیجه برهم‌کنش خاک، هوا، آب، گیاه و ریزجانداران خاک می‌باشد، ولی در مجموع گنجایش هوایی[10] کل و گنجایش هوایی خلل و فرج ریز خاک به عنوان شاخص‌های مناسبی برای تهویه خاک به شمار می‌روند. این محققین اظهار می‌دارند که ویژگی‌هایی مانند محتوای کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل[11]، گنجایش هوایی، مقدار آب قابل استفاده گیاه، ظرفیت مزرعه نسبی[12] و هدایت هیدرولیکی اشباع[13] خاک از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی کیفیت خاک محسوب می‌شوند.

توزیع غیریکنواخت مکانی و زمانی بارندگی در ایران و مقادیر بسیار ناچیز نزولات آسمانی که قسمت اعظم آن در اواسط پائیز تا اوایل بهار رخ می‌دهد، وجود اقلیم خشک را برای قسمت اعظم این کشور رقم زده است. لذا کمبود آب و خشک‌سالی و از طرف دیگر فقر شدید ماده‌آلی در خاک‌های ایران، لزوم مطالعه بیشتر روابط آب، خاک و گیاه به عنوان مهم‌ترین مبحث کیفیت فیزیکی خاک جهت بهبود مدیریت مصرف آب در تولیدات کشاورزی کشور را توجیه می‌نماید. در این خصوص شاخص گنجایش انتگرالی آب به عنوان یک شاخص

1- Penetration Resistance (PR)
2- Air-Filled Porosity (AFP)
3- Integral Water Capacity (IWC)
4- Weighting Functions
5- Soil Quality (SQ)
6- Plant Available Water (PAW)
7- Field Capacity (FC)
8- Permanent Wilting Point (PWP)
9- Non Limiting Water Range (NLWR)
10- Global Positioning System (GPS)
11- Sand Box
12- Soil Moisture Curve (SMC)
13- Air Capacity (AC)

فیزیکی کیفیت خاک و در واقع شاخص کمی ادغام کننده محدودیت‌های فیزیکی خاک می‌باشد. با توجه به پیچیدگی و زمان‌بر بودن تعیین و محاسبه این شاخص، می‌توان با بررسی و مطالعه رابطه آن با دیگر ویژگی‌های فیزیکی خاک و با استفاده از ویژگی‌های مؤثر بر آن مقدار آن را تخمین زد. در همین راستا در مطالعه حاضر روابط بین شاخص گنجایش انتگرالی آب با برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های با بافت و مقادیر کربن آلی متفاوت، بررسی و در نهایت رابطه‌ای با ضریب تبیین مشخص جهت تخمین این شاخص با استفاده از دیگر ویژگی‌های خاک ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

مطالعه حاضر در طی سالهای ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در ایستگاه طرق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان‌رضوی واقع در جنوب‌شرقی شهر مشهد و در مختصات جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه طول‌شرقی و ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه عرض‌شمالی با مساحتی حدود ۲۲۰ هکتار انجام شد. ارتفاع متوسط ایستگاه از سطح دریا ۱۰۱۰ متر، میانگین بارندگی سالانه حدود ۲۶۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. واحد فیزیوگرافی این ایستگاه دشت آبرفتی دامنه‌ای بوده و خاک اراضی آن در دو رده انتی‌سول و اریدی‌سول طبقه‌بندی شده است و عموماً در لایه سطحی دارای بافت متوسط رو به سبک و خیلی‌سبک می‌باشد (۱۵).

نمونه‌برداری از خاک

با استفاده از اطلاعات موجود در خصوص ویژگی‌های خاک قسمت‌های مختلف اراضی ایستگاه، ۳۰ نقطه که دارای بافت، ساختمان و ماده آلی متفاوت می‌باشد در قالب کرت‌های ثابت انتخاب و موقعیت مکانی آنها جهت مراجعات بعدی با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی[1] ثبت شد. برای اندازه‌گیری خصوصیات مختلف خاک از هر کرت سه نمونه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردید. از سه نمونه خاک ذکر شده یک نمونه دست‌خورده، یک نمونه دست‌نخورده با استفاده از سیلندرهای فلزی با قطر ۸ و ارتفاع ۴ سانتی‌متر جهت اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری و یک نمونه دست‌نخورده با استفاده از سیلندرهای فلزی با قطر ۵ و ارتفاع ۵/۳ سانتی‌متر جهت استفاده در دستگاه جعبه شن[2] تهیه شد.

خصوصیات اندازه‌گیری و محاسبه شده

جهت تعیین منحنی رطوبی خاک[3]، مکش‌های ۰، ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متر آب بر روی نمونه‌های خاک دست‌نخورده (سیلندرهای با قطر ۵ سانتی‌متر) با استفاده از دستگاه جعبه شن و مکش‌های ۳۳۰، ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر آب بر روی نمونه‌های خاک دست‌خورده با استفاده از صفحات فشاری درون محفظه‌های فشار اعمال شد (۱۱) و رطوبت خاک در هر مکش به صورت وزنی تعیین و محاسبه گردید. در این مطالعه، توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری و اجزاء شن بر اساس طبقه‌بندی آمریکایی[4] با استفاده از الک‌های مطبق (۹)، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک به ترتیب با استفاده از نمونه دست نخورده (سیلندرهای با قطر ۸ سانتی‌متر) و روش پیکنومتر (۷) و کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (۱۶) اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های مربوط به بافت و جرم مخصوص ظاهری و همچنین داده‌های رطوبی خاک در دامنه مکش ۰ تا ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر آب و برازش معادله وان‌گنوختن در قالب نرم-افزار RETC[5] ضرایب منحنی رطوبی مربوط به هر نمونه خاک تعیین گردید (۲). این ضرایب شامل رطوبت حجمی اشباع(θ_{vs}) (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، رطوبت حجمی باقی‌مانده(θ_{vr}) (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب)، عکس مکش ماتریک در نقطه ورود هوا(α) (بر سانتی‌متر)، عامل شکل و تعیین‌کننده شیب منحنی برازش شده (n) و m که معادل $(1-1/n)$ بودند (۱۲).

ظرفیت مزرعه نسبی، تخلخل و گنجایش هوایی خاک

ظرفیت مزرعه نسبی به صورت رابطه شماره ۱ تعریف می‌گردد (۱۴).

$$RFC = (\theta_{FC}/\theta_S) \quad 0< \text{RFC} < 1 \qquad (۱)$$

که در آن θ_{FC}: رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت مزرعه (مکش ۳۳۰ سانتی‌متر) و θ_S: رطوبت حجمی در نقطه اشباع می‌باشد.

تخلخل کل با استفاده از جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک با استفاده از رابطه شماره ۲ تعیینشد که تقریباً معادل رطوبت حجمی در نقطه اشباع می‌باشد (۷).

$$POR_t = \left(1 - D_b/D_p\right) \qquad (۲)$$

D_b و D_p به ترتیب جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک را نشان می دهند.

با اعمال مکش ۱۰ سانتی‌متر آب (قطر معادل خلل و فرج برابر ۰/۳ میلی‌متر که از معادله صعود موئینه حاصل می‌گردد)، تخلخل و

1- Porosity (POR)
2- Relative Field Capacity (RFC)

3- United States Department of Agriculture (USDA) system
4- Retention Curve Program
5- Saturated Hydraulic Conductivity

گنجایش هوایی برای منافذ درشت و ریز خاک تعیین شد (۱۴). رطوبت حجمی خاک در مکش ۱۰ سانتی‌متر آب معادل درصد تخلخل ریز (POR_f) و تفاوت آن با تخلخل کل معادل درصد تخلخل درشت (POR_c) خاک می‌باشد.

گنجایش هوایی خاک با استفاده از روابط شماره ۳ و ۴ قابل محاسبه است. در این روابط AC_t معادل درصد گنجایش هوایی کل و AC_f معادل درصد گنجایش هوایی خلل و فرج ریز خاک می‌باشد (۱۳ و ۱۴).

$$AC_t = POR_t - \theta_{FC} \quad (۳)$$

$$AC_f = POR_f - \theta_{FC} \quad (۴)$$

شکل ۱ روابط کلی تخلخل و گنجایش هوایی خاک را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

گنجایش انتگرالی آب

بر اساس نتایج مطالعات گرانولت و همکاران (۶) گنجایش انتگرالی آب از رابطه شماره ۵ محاسبه می‌شود.

$$IWC = \int_0^{\infty} (\prod_{i=1}^{m} \omega_i(h)) C(h) dh \quad (۵)$$

که در آن C(h): قدر مطلق شیب منحنی رطوبی خاک (بر سانتی‌متر)، و $\omega_i(h)$: توابع وزن‌دهی که محدودیت‌های فیزیکی مختلف را به عنوان تابعی از مکش خاک وزن‌دهی می‌کنند.

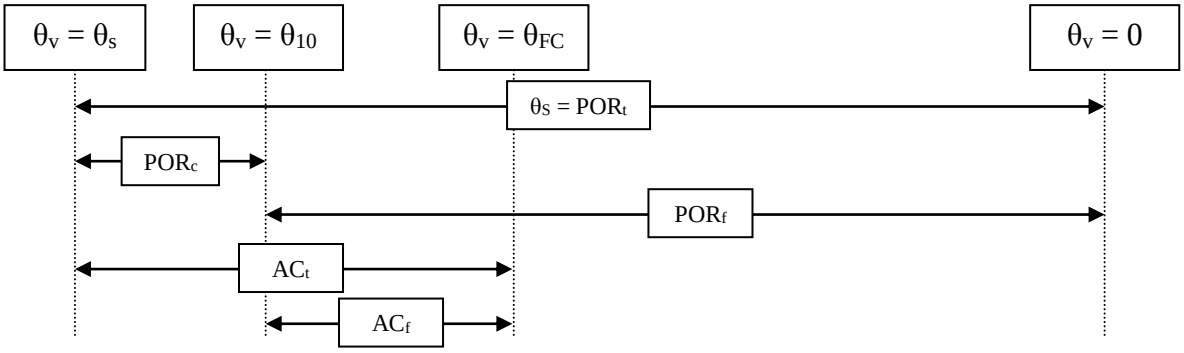
مقدار تابع وزن‌دهی وقتی که محدودیت کامل در مقابل جذب آب توسط گیاه وجود داشته باشد معادل صفر و به صورت پیوسته تا یک افزایش پیدا می‌کند و وقتی که هیچ‌گونه محدودیتی برای جذب آب توسط گیاه وجود نداشته باشد به یک می‌رسد. در این خصوص منحنی رطوبی خاک به چهار مقطع تقسیم می‌گردد.

زمانی‌که خاک در نقطه اشباع یا نزدیک به آن باشد، ناحیه توسعه ریشه بر اثر نیروی ثقل به سرعت از آب تخلیه و زهکشی شده و آب از دسترس گیاه خارج می‌شود. به همین دلیل در شرایط ذکر شده، هدایت هیدرولیکی زیاد یک محدودیت در دسترسی گیاه به آب محسوب می‌گردد. لذا از سمت مرطوب منحنی رطوبی خاک ابتدا محدودیت هدایت هیدرولیکی زیاد و خروج سریع آب وجود دارد. مقدار تابع وزن‌دهی این محدودیت با استفاده از رابطه شماره ۶ محاسبه می‌شود.

$$\omega_k(h) = [K_r(330)/K_r(h)]^{0.08} \quad (۶)$$

مقدار این تابع در مکش معادل ۳۳۰ سانتی‌متر آب برابر با یک و با کاهش مکش، مقدار آن کاهش یافته ولی فرض بر این است که حتی در نقطه اشباع نیز صفر نخواهد شد. در این خصوص K_r بر اساس مدل وان گنوختن (۱۹۸۰)- معلم (۱۹۷۶) با استفاده از رابطه شماره ۷ قابل محاسبه است.

$$K_r(h) = \left[1 - (\alpha h)^{n-1}[1 + (\alpha h)^n]^{[1/n-1]}\right]^2 / [1 + (\alpha h)^n]^{[n-1/2n]} \quad (۷)$$



شکل ۱- تخلخل و گنجایش هوایی خاک

Figure 1- Soil porosity and air capacity

در مقطع دوم منحنی رطوبی خاک، محدودیت کمبود تهویه وجود دارد. در این خصوص مقدار تابع وزن‌دهی این محدودیت، با استفاده از روابط شماره ۸ و ۹ محاسبه می گردد.

$$\omega_a(h) = A\, log[h/h_{10}] \quad (۸)$$

$$A = 1/log[h_{15}/h_{10}] \quad (۹)$$

که در آن h_{10}: مکش ماتریک در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد و h_{15}: مکش ماتریک در تخلخل تهویه‌ای ۱۵ درصد می‌باشد. این رابطه نشان می‌دهد که مقدار تابع وزن‌دهی محدودیت تهویه خاک در نقطه دارای تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد معادل صفر (محدودیت کامل) بوده و به تدریج به سمت نقطه دارای تخلخل تهویه‌ای ۱۵ درصد افزایش یافته و در نهایت در این نقطه به یک (بدون محدودیت) می‌رسد. جهت تعیین رطوبت حجمی در نقطه دارای تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد از رابطه شماره ۱۰ استفاده شد (۴).

$$\theta_{AFP\ 10\%} = (1 - D_b/D_p) - 0.1 \quad (۱۰)$$

با استفاده از این رابطه ابتدا رطوبت حجمی در نقطه دارای تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد محاسبه و سپس با استفاده از معادله منحنی

رطوبی خاک مقدار مکش در این نقطه محاسبه گردید. مکش ماتریک در تخلخل تهویه‌ای ۱۵ درصد نیز به همین صورت قابل محاسبه است.

در مقطع سوم و در سمت خشک منحنی رطوبی خاک، محدودیت مقاومت فروروی خاک در مقابل نفوذ ریشه وجود دارد. این محدودیت از مقاومت ۱/۵ مگا پاسکال شروع شده و در مقاومت ۲/۵ مگا پاسکال به حد نهایی خود می‌رسد.

جهت تعیین مقاومت فروروی خاک از فروسنج مخروطی مارک Eijkelkamp با دقت یک سانتی‌متر و مخروط دارای زاویه ۶۰ درجه و سطح مقطع ۱ سانتی‌متر مربع، استفاده شد. برای این منظور در زمان‌هایی که حداقل سه روز از آبیاری یا بارندگی گذشته و خاک تقریباً رطوبت ثقلی خود را از دست داده و از طرف دیگر رطوبت دارای توزیع یکنواخت می‌باشد، این اندازه‌گیری در محل‌هایی نزدیک به محل برداشت نمونه خاک دست‌خورده و دست‌نخورده انجام شد. هم-زمان با هر اندازه‌گیری مقاومت فروروی، یک نمونه خاک جهت تعیین رطوبت به روش وزنی تهیه گردید.

جهت حصول به یک تابع پیوسته از مقاومت فروروی خاک، با استفاده از نرم‌افزار اکسل یک مدل توانی به داده‌های به‌دست آمده از اندازه گیری‌های مقاومت، برازش گردید.

$$PR(h) = ah^b \qquad (۱۱)$$

که در آن PR(h): مقاومت فروروی خاک به عنوان تابعی از مکش ماتریک (مگاپاسکال)، h: مکش ماتریک خاک (سانتی‌متر)، a و b: ضرایب تجربی مدل می‌باشد (۶).

مقدار تابع وزن‌دهی محدودیت مقاومت فروروی خاک از رابطه شماره ۱۲ محاسبه می‌گردد (۲).

$$\omega_R(h) = 2.5 - PR(h) \qquad (۱۲)$$

در آخرین مقطع منحنی رطوبی، محدودیت هدایت هیدرولیکی کم وجود دارد. این محدودیت از مکش ۱۲۰۰۰ سانتی‌متر آب شروع شده و به تدریج افزایش یافته و در مکش ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر آب به حداکثر خود رسیده و تابع وزن دهی برابر با صفر می‌شود. مقدار تابع وزن‌دهی این محدودیت با استفاده از روابط شماره ۱۳ و ۱۴ محاسبه می‌گردد (۲).

$$\omega_{kdry}(h) = [12000/h]^{-d} \qquad (۱۳)$$

$$K_r(h) = ch^d \qquad (۱۴)$$

که در آن d: ضریب تجربی تابع نمایی برازش شده برای محاسبه هدایت هیدرولیکی خاک می‌باشد.

شرایطی وجود دارد که ممکن است در مقطعی از منحنی رطوبی خاک، دو محدودیت به طور همزمان وجود داشته باشند که در این شرایط مقادیر توابع وزن‌دهی هر دو محدودیت در شیب لحظه‌ای منحنی رطوبی خاک در همان مقطع ضرب و در رابطه ۵ مدنظر قرار می‌گیرد. در نهایت شاخص گنجایش انتگرالی آب حاصل جمع انتگرال‌های محاسبه شده در مقاطع مختلف منحنی رطوبی خاک می-باشد.برای انجام محاسبات انتگرالی در راستای تعیین مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب، از نرم‌افزار Mathcad Prime 3 استفاده شد.

تجزیه‌های آماری

جهت تعیین رابطه بین شاخص گنجایش انتگرالی آب و ویژگی-های مختلف فیزیکی خاک از همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی چند متغیره با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اندازه‌گیری و محاسبه ویژگی‌ها و ضرایب منحنی رطوبی خاک در نمونه‌های مورد مطالعه به اختصار در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱- ویژگی‌ها و ضرایب منحنی رطوبی خاک در نمونه‌های مورد مطالعه

Table 1- Soil properties and soil moisture curve parameters of studied samples

	n	α	θvr	θvs	D_p	D_b	OC	Clay	Silt	Sand
	-	(cm^{-1})	(cm^3cm^{-3})		($gr\ cm^{-3}$)		%			
حداکثر (Max)	1.66	0.74	0.08	0.51	2.88	1.56	1.05	34	54	66
حداقل (Min)	1.16	0.02	0	0.40	2.61	1.29	0.26	11	23	17
میانگین (Mean)	1.27	0.08	0.01	0.45	2.70	1.45	0.53	25	45	30

تجزیه‌ها نشان داد که ۴۰ درصد از نمونه‌های خاک مورد مطالعه دارای بافت لوم[1]، ۲۳ درصد بافت لوم سیلتی[2]، ۱۷ درصد بافت لوم رسی سیلتی[3]، ۱۳ درصد بافت لوم رسی[4] و ۷ درصد بافت لوم شنی[5] بودند. به طور میانگین در بین اجزاء شن، شن خیلی ریز و شن

1- Loam
2- Silt Loam
3- Silty Clay Loam
4- Clay Loam
5- Sandy Loam

خیلی درشت به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر را به خود اختصاص دادند.

جدول ۲ مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین تخلخل و گنجایش هوایی خاک (به تفکیک خلل و فرج درشت و ریز) و ظرفیت مزرعه نسبی در نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نتایج نشان داد که در نمونه خاک‌های مطالعه شده نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک (RFC -1) به طور میانگین معادل ۴۴ درصد بود. بر اساس معادله صعود موئینه می‌توان بیان نمود که به طور میانگین ۴۴ درصد خلل و فرج موجود در خاک دارای قطری بیش از ۹ میکرومتر و ۵۶ درصد باقی‌مانده (معادل میانگین ظرفیت مزرعه نسبی) دارای قطری کمتر از ۹ میکرومتر می‌باشند و با همین استدلال از مجموع ۴۶ درصد تخلخل کل، به طور متوسط ۶ درصد مربوط به خلل و فرج با قطر بیش از ۳۰۰ میکرومتر، ۱۵ درصد بین ۳۰۰ تا ۹ میکرومتر و ۲۵ درصد خلل و فرج کوچک‌تر از ۹ میکرومتر است، به بیان دیگر بیش از نیمی از تخلخل کل خاک مربوط به خلل و فرج ریز (کوچک‌تر از ۹ میکرومتر) می‌باشد. این تحلیل به گونه‌ای توزیع کلی اندازه خلل و فرج خاک را بیان می‌کند ولی بررسی دقیق توزیع اندازه خلل و فرج خاک، نیازمند محاسبات مربوط به منحنی توزیع و شاخص‌های موقعیت و شکل این منحنی می‌باشد که خارج از مبحث این مطالعه است. در مجموع نتایج نشان داد که ۳۰ درصد از خاک‌های مطالعه شده در شرایط مطلوب گنجایش هوایی کل خاک (۰/۲۲–۰/۱۶) قرار دارند (۱۴).

بررسی مقادیر ظرفیت مزرعه نسبی نشان داد که در ۶۰ درصد نمونه خاک‌های مورد مطالعه ظرفیت مزرعه نسبی کمتر از ۰/۶، در ۷ درصد بیشتر از ۰/۷ و در ۳۳ درصد نمونه‌ها، مقدار این شاخص در دامنه بین ۰/۶ و ۰/۷ قرار دارد. به بیان دیگر ظرفیت مزرعه نسبی تنها در ۳۳ درصد نمونه خاک‌ها در شرایط مطلوب بوده و بین گنجایش آبی و گنجایش هوایی خاک حالت تعادل وجود دارد و در قسمت اعظم (۶۰ درصد) محدوده بررسی شده، فعالیت میکروبی به دلیل کمبود آب خاک و در ۷ درصد باقی‌مانده به دلیل کمبود هوای خاک با اختلال همراه است (۱۳).

قبل از محاسبه شاخص گنجایش انتگرالی آب، عوامل مورد نیاز در محاسبات مربوط به توابع وزن‌دهی و محدودیت‌های چهارگانه با استفاده از ضرایب منحنی رطوبی خاک در قالب نرم‌افزار اکسل محاسبه و تعیین گردید. در ادامه محاسبات مربوط به توابع وزن‌دهی محدودیت‌ها و در نهایت تعیین شاخص گنجایش انتگرالی آب برای خاک شماره ۱۸ با بافت لوم رسی سیلتی به عنوان نمونه آورده شده است. جداول ۳ و ۴ به ترتیب ضرایب منحنی رطوبی و مقادیر عوامل مورد نیاز در محاسبات مربوط به نمونه خاک شماره ۱۸ را نشان می‌دهند.

$$\int_{46.4}^{108.4}\left(\omega_a(h)*\omega_k(h)\right)C(h)dh = 0.019 \quad (۱۵)$$

$$\int_{108.4}^{330}\left(\omega_k(h)\right)C(h)dh = 0.055 \quad (۱۶)$$

$$\int_{330}^{3090.7} C(h)dh = 0.093 \quad (۱۷)$$

$$\int_{3090.7}^{12000}\left(\omega_R(h)\right)C(h)dh = 0.03 \quad (۱۸)$$

$$\int_{12000}^{15000}\left(\omega_R(h)*\omega_{kdry}(h)\right)C(h)dh = 0.002 \quad (۱۹)$$

(۲۰)

$$IWC = 0.019 + 0.055 + 0.093 + 0.03 + 0.002 = \mathbf{0.199}(cm^3cm^{-3})$$

با توجه به این‌که در مکش‌های کمتر از مکش تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد به دلیل کمبود تهویه، محدودیت جذب آب وجود دارد و مقدار تابع وزن‌دهی معادل صفر است، لذا در خاک شماره ۱۸ محاسبه شاخص گنجایش انتگرالی آب از مکش در تخلخل تهویه‌ای ۱۰ درصد (h_{10}) شروع می‌شود. حال با توجه به این مطلب که در این خاک در حدفاصل بین مکش حد بالا و حد پائین این محدودیت، محدودیت هدایت هیدرولیکی زیاد نیز وجود دارد، حاصل‌ضرب هر دو محدودیت در قدرمطلق شیب لحظه‌ای در بازه (h_{10}) و (h_{15}) در محاسبه وارد می‌شود (رابطه شماره ۱۵). در مقطع بعدی منحنی رطوبی خاک (از (h_{15}) تا (h_{FC})) اثر محدودیت تهویه وجود ندارد و فقط محدودیت هدایت هیدرولیکی زیاد در محاسبه مد نظر قرار می‌گیرد (رابطه شماره ۱۶). در بازه مکش بین ظرفیت مزرعه و شروع محدودیت مقاومت فروروی ($h_{1.5\ MPa}$)هیچ‌گونه محدودیتی برای جذب آب وجود ندارد و با توجه به نتیجه محاسبه رابطه شماره ۱۷، بیشترین سهم از کل مقدار گنجایش انتگرالی آب مربوط به این مقطع از منحنی می‌باشد (۲). در مقطع بعدی و در حدفاصل بین مکش در نقطه شروع محدودیت مقاومت فروروی تا مکش در نقطه شروع محدودیت هدایت هیدرولیکی کم، فقط محدودیت فروروی در محاسبات وارد می‌گردد (رابطه شماره ۱۸) ولی در آخرین مقطع و با شروع محدودیت هدایت هیدرولیکی کم و تداوم محدودیت فروروی، حاصل‌ضرب دو تابع وزن‌دهی مقاومت فروروی و هدایت هیدرولیکی کم در محاسبات تأثیرگذار هستند (رابطه شماره ۱۹). با وجود این‌که اثر محدودیت مقاومت فروروی در این بازه به حداکثر خود (تابع وزن‌دهی معادل صفر) نرسیده است، ولی با توجه به این‌که در مکش‌های بیش از ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر آب، مقدار رطوبت قابل آزادسازی و جذب توسط گیاه بسیار ناچیز و تقریباً معادل صفر است (۲)، لذا تابع وزن‌دهی محدودیت هدایت هیدرولیکی کم در این نقطه به صفر رسیده و محاسبه شاخص گنجایش انتگرالی آب در همین نقطه خاتمه می‌یابد. در نهایت مجموع مقادیر محاسبه شده برای مقاطع مختلف منحنی رطوبی (رابطه شماره ۲۰)، تعیین‌کننده مقدار گنجایش انتگرالی آب در نمونه خاک مورد بررسی می‌باشد.

جدول ۲- تخلخل، گنجایش هوایی و ظرفیت مزرعه نسبی

Table 2- Soil porosity, air capacity and relative field capacity

	RFC	AC_f	AC_t	POR_f	POR_c	POR_t
	-	(cm^3cm^{-3})				
حداکثر (Max)	0.74	0.25	0.30	0.45	0.16	0.52
حداقل (Min)	0.34	0.06	0.11	0.30	0.01	0.41
میانگین (Mean)	0.56	0.15	0.20	0.40	0.06	0.46

جدول ۳- ضرایب منحنی رطوبی در خاک شماره ۱۸

Table 3- Soil sample No. 18 moisture curve parameters

	n	α	θvr	θvs
	-	(cm^{-1})	(cm^3cm^{-3})	
مقدار (Value)	1.21	0.053	0.006	0.46

جدول ٤- عوامل مورد نیاز در محاسبه شاخص گنجایش انتگرالی آب در خاک شماره ۱۸

Table 4- Soil sample No. 18 required factors for calculation of integral water capacity index

محدودیت (Limitation)	عامل (Factor)	محدودیت (Limitation)	عامل (Factor)
هدایت هیدرولیکی زیاد (High soil hydraulic conductivity)	K_r (330) = 1.84×10^{-5}	مقاومت فروروی (Penetration resistance)	a = 0.308 (Mpa cm^{-1}) b = 0.197 $h_{1.5\ MPa}$ = 3090.7 (cm) $h_{2.5\ MPa}$ = 41322.8 (cm)
تهویه (Soil aeration)	h_{10} = 46.4 (cm) h_{15} = 108.4 (cm) A = 2.71	هدایت هیدرولیکی کم (Low soil hydraulic conductivity)	d = -2.435

نتایج محاسبه شاخص گنجایش انتگرالی آب در نمونه خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که مقدار این شاخص بین ۰/۲۵ و ۰/۱۳ و دارای میانگین ۰/۲۰ (سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب) می‌باشد. در بین خاک‌های مطالعه شده، خاک‌های دارای بافت لوم و لوم رسی به طور متوسط بیش‌ترین مقادیر گنجایش انتگرالی آب را به خود اختصاص دادند.

نتایج برقراری ارتباط آماری بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با مقادیر شاخص گنجایش انتگرالی آب از طریق ضریب همبستگی پیرسون در جدول ۵ ارائه شده است. این جدول بیان‌گر ضرائب همبستگی و سطوح معنی‌داری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک و مقادیر شاخص گنجایش انتگرالی آب می‌باشد.

جدول ۵- ضرائب همبستگی و سطوح معنی‌داری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک با مقادیر شاخص گنجایش انتگرالی آب

Table 5- Correlation coefficients of soil measured properties with integral water capacity index

خصوصیات خاک (Soil properties)	ضرایب همبستگی (Correlation coefficients)	خصوصیات خاک (Soil properties)	ضرایب همبستگی (Correlation coefficients)
کربن آلی (OC)	-0.05^{ns}	شن خیلی درشت(V.C. Sand)	0.15^{ns}
جرم مخصوص ظاهری(D_b)	-0.54^{**}	شن درشت (C. Sand)	0.17^{ns}
ظرفیت مزرعه نسبی(RFC)	-0.61^{***}	شن متوسط (M. Sand)	0.12^{ns}
تخلخل کل(POR_t)	0.70^{***}	شن ریز(F. Sand)	0.10^{ns}
تخلخل درشت (POR_c)	0.32^{ns}	شن خیلی ریز(V.F. Sand)	0.05^{ns}
تخلخل ریز(POR_f)	0.29^{ns}	شن(Sand)	0.14^{ns}
گنجایش هوایی کل (AC_t)	0.71^{***}	سیلت(Silt)	-0.07^{ns}
گنجایش هوایی منافذ ریز (AC_f)	0.58^{***}	رس(Clay)	-0.19^{ns}

*** : معنی دار در سطح ۰/۱٪ ** : معنی دار در سطح ۱٪ * : معنی دار در سطح ۵٪ ns : غیر معنی دار

***: significant (P <0.001), **: significant (P <0.01), *: significant (P <0.05), ns: non-significant

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد هیچ‌یک از اجزاء تشکیل دهنده خاک شامل رس، سیلت و پنج جزء شن تأثیر معنی‌داری بر شاخص گنجایش انتگرالی آب خاک ندارند. این نتیجه در خصوص محتوای کربن آلی خاک نیز صدق می‌کند. عدم تأثیر درصد رس و ماده آلی بر مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب توسط دیگر محققین نیز تأیید شده است (۲). تأثیر این عوامل را می‌توان در قالب دیگر ویژگی‌ها مانند جرم مخصوص ظاهری، تخلخل و گنجایش هوایی خاک مشاهده نمود.

اثر منفی و معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک بر مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب نشان داد که با کاهش جرم مخصوص ظاهری، مقدار آب قابل استفاده خاک که محدودیت‌های جذب آب به صورت تدریجی در آن لحاظ شده است، افزایش می‌یابد. به بیان دیگر کاهش جرم مخصوص ظاهری و تراکم خاک منجر به افزایش کیفیت فیزیکی خاک و کاهش اثر محدودیت‌های جذب آب و به تبع آن افزایش مقادیر توابع وزن‌دهی این محدودیت‌ها می‌گردد. محققین دیگر نیز رابطه منفی جرم مخصوص ظاهری با مقدار گنجایش انتگرالی آب را گزارش نموده‌اند (۲).

نتایج این مطالعه نشان داد که تخلخل و گنجایش هوایی خاک اثر مستقیم بر مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب دارند که از این بین، تخلخل کل، گنجایش هوایی کل و گنجایش هوایی خلل و فرج ریز تأثیر معنی‌دار ($P < 0.001$) بر مقدار این شاخص نشان دادند. اوگالد و همکاران (۱۷) نیز بر اساس مطالعه‌ای پیرامون اثر نوع خاک-ورزی بر شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک و آب قابل استفاده گیاه در خاک‌های لوم سیلتی اعلام نمودند که افزایش میزان خلل و فرج ریز، باعث افزایش معنی‌دار میزان آب قابل استفاده گیاه در اعماق مختلف خاک شده است که به نوعی نتیجه حاصل از مطالعه حاضر را تأیید می‌کند.

در مجموع افزایش نسبت گنجایش هوایی کل به تخلخل کل خاک و در همین راستا افزایش نسبت گنجایش هوایی خلل و فرج ریز به کل گنجایش هوایی موجب افزایش مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب می‌شود. با این توضیح و توجه به رابطه بین ظرفیت مزرعه نسبی و گنجایش هوایی کل خاک ($RFC = 1 - AC_t/POR_t$)، تأثیر منفی و معنی‌دار ظرفیت مزرعه نسبیبر مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب منطقی به نظر می‌رسد. افزایش گنجایش هوایی خلل و فرج ریز در خاک موجب افزایش گنجایش هوایی کل و تخلخل کل می‌گردد اما از آنجا که افزایش گنجایش هوایی کل خاک به مراتب بیشتر از افزایش تخلخل کل است، لذا با افزایش گنجایش هوایی خلل و فرج ریز خاک، مقدار ظرفیت مزرعه نسبی کاهش می‌یابد. وجود رابطه آماری قوی بین گنجایش هوایی خلل و فرج ریز خاک و ظرفیت مزرعه نسبی (۰/۸۳-) مؤید این مطلب است.

جهت دست‌یابی به رابطه‌ای برای تخمین مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده در این مطالعه، از رگرسیون خطی چند متغیره گام به گام بین مقادیر شاخص گنجایش انتگرالی آب به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های فیزیکی خاک به عنوان متغیرهای مستقل استفاده گردید. نتایج این تجزیه در قالب جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ٦- تجزیه رگرسیون چند متغیره بین مقادیر شاخص گنجایش انتگرالی آب و ویژگی‌های فیزیکی خاک

Table 6- Multiple regression analysis between integral water capacity index and soil physical properties

عامل (Factor)	واحد (Unit)	ضریب (Coefficient)	ضریب تبیین جزئی (Partial R^2)	ضریب تبیین تجمعی (Cumulative R^2)	سطح معنی‌داری (Signification)
گنجایش هوایی کل (AC_t)	($cm\ cm^{-3}$)	0.26	0.50	0.50	0.000
تخلخل کل (POR_t)	($cm\ cm^{-3}$)	0.50	0.13	0.63	0.005
عرض از مبداء (Intercept)	-	-0.09	--	--	--

نتیجه تجزیه رگرسیون چند متغیره نشان داد که گنجایش هوایی کل خاک با ضریب مثبت و معنی‌دار($P < 0.001$) در گام اول و تخلخل کل خاک نیز با ضریب مثبت و معنی دار ($P < 0.01$)در گام دوم با ضریب تبیین ۰/۶۳ تغییرات شاخص گنجایش انتگرالی آب را کنترل نمودند. ضریب تبیین جزئی عوامل وارد شده به رابطه نشان داد که عامل گنجایش هوایی کل خاک به تنهایی ۵۰ درصد مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب را توجیه نموده و ۱۳ درصد دیگر به‌وسیله عامل تخلخل کل خاک توجیه می‌گردد. بر اساس این رابطه، هر عاملی که منجر به افزایش گنجایش هوایی و تخلخل خاک گردد، محدودیت‌های جذب آب توسط گیاه را کاهش داده و مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب را به عنوان یکی از شاخص‌های فیزیکی کیفیت خاک افزایش می‌دهد.

این رابطه حاصل مطالعه و بررسی ویژگی‌های خاک‌های دارای بافت متوسط رو به سبک می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌گردد جهت بررسی‌های جامع‌تر مطالعاتی مشابه بر روی خاک‌های دارای بافت-های متنوع انجام گردد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد که هیچ‌یک از اجزاء تشکیل دهنده بافت و همچنین محتوای کربن آلی خاک تأثیر معنی‌داری بر مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب نداشتند اما جرم مخصوص ظاهری و ظرفیت مزرعه نسبی دارای ضریب همبستگی منفی و معنی‌دار با مقدار این شاخص بودند. بررسی روابط همبستگی بین شاخص گنجایش انتگرالی آب و ویژگی‌های تخلخل و گنجایش هوایی خاک نشان داد که این ویژگی‌ها تأثیر مستقیم بر مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب داشتند که از این بین، رابطه مثبت سه ویژگی تخلخل کل، گنجایش هوایی کل و گنجایش هوایی خلل و فرج ریز خاک در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بودند. نتیجه تجزیه رگرسیون خطی چند متغیره بین مقادیر شاخص گنجایش انتگرالی آب به عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های فیزیکی خاک به عنوان متغیرهای مستقل نشان داد که با استفاده از دو عامل گنجایش هوایی کل و تخلخل کل خاک می‌توان مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب را با ضریب تبیین ۰/۶۳ تخمین زد. در مجموع با اندازه‌گیری رطوبت حجمی در نقطه اشباع و ظرفیت مزرعه و محاسبه گنجایش هوایی و تخلخل کل خاک، می‌توان به تخمین نسبتاً مناسبی از مقدار شاخص گنجایش انتگرالی آب دست یافت.

منابع

1- Aparicio V., and Costa J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. Soil & Tillage Research, 96: 155–165.
2- Asgarzadeh H., Mosaddeghi M.R., Mahboubi A.A., Nosrati A., and Dexter A.R. 2010. Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. Plant Soil, 335: 229–244.
3- Da Silva A.P., and Kay B.D. 1997. Estimating least limiting water range of soils from properties and management. Soil Science Society of American Journal, 61: 877–883.
4- Da Silva A.P., and Kay B.D. 2004. Linking process capability analysis and least limiting water range for assessing soil physical quality. Soil & Tillage Research, 79: 167–174.
5- Da Silva A.P., Kay B.D., and Perfect E. 1994. Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Science Society of American Journal, 58: 1775–1781.
6- Groenevelt P.H., Grant C.D., and Semetsa S. 2001. A new procedure to determine soil water availability. Australian Journal of Soil Research, 39: 577–598.
7- Hao X., Ball B.C., Culley J.L.B., Carter M.R., and Parkin G.W. 2007. Soil density and porosity. p. 743-760. In: Carter M.R., and Gregorich E.G. (ed.) Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science. Taylor and Francis.
8- Imaz M.J., Virto I., Bescansa P., Enrique A., Ugalde O.F., and Karlen D.L. 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid mediterranean cropland. Soil & Tillage Research, 107:17–25.
9- Kroetsch D., and Wang C. 2007. Particle size distribution. p. 713–725. In: Carter M.R., and Gregorich E.G. (ed.) Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science. Taylor and Francis.
10- Letey J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. Advanced Soil Science, 1: 277–294.
11- Reynolds W.D., and Clarke Topp G. 2007. Soil water desorption and imbibition: tension and pressure techniques. p. 981-997. In: Carter M.R., and Gregorich E.G. (ed.) Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science. Taylor and Francis.
12- Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma, 152: 252– 263.
13- Reynolds W.D., Drury C.F., Yang X.M., Fox C.A., Tan C.S., and Zhang T.Q. 2007. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. Soil & Tillage Research, 96: 316–330.
14- Reynolds W.D., Drury C.F., Yang X.M., and Tan C.S. 2008. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. Geoderma, 146:466– 474.
15- Sahebjame A.A. 2002. The precise detailed study of soil and land classification of Torogh (Khorasan-Razavi) agricultural research station. Final report, 1146. Soil and Water Research Institute. (in Persian)
16- Skjemstad J.O., and Baldock J.A. 2007. Total and organic carbon. p. 225-237. In: Carter M.R., and Gregorich E.G. (ed.) Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd ed. Canadian Society of Soil Science. Taylor and Francis.
17- Ugalde O.F., Virto I., Bescansa P., Imaz M.J., Enrique A., and Karlen D.L. 2009. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. Soil & Tillage Research, 106: 29–35.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 4, Sept.-Oct. 2016, p. 1192-1201

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۵، ص. ۱۲۰۱-۱۱۹۲

The Relationship between Integral Water Capacity (IWC) Index and some Soil Physical Properties in Khorasan-Razavi Province

M. Zangiabadi[1]– M. Gorji Anari[2*]– M. Shorafa[3]– S. Khavari Khorasani[4]– S. Saadat[5]

Received: 08-08-2015
Accepted: 05-10-2015

Introduction: Soil is the main source of water retention and availability for plant uptake. The supplement of water is completely dependent on soil physical properties. The soils with higher values of available water are generally more productive because they can supply adequate moisture to plants during the intervals between irrigation or rainfall events. Generally according tothe spatial and temporal distribution of precipitation, Iran has an arid climate in which most of the relatively low annual precipitation falls from October through April. Thus, water deficiency along with the lack of organic carbon in the soil justifies the necessity of studying the soil, water and plant relationships that may improve the efficiency of water consumption in agricultural practices. For that reason, this research was conducted to investigate the relationship between some soil physical properties and Integral Water Capacity (IWC) index as one of the soil physical quality indices.

Materials and Methods: This study was conducted in Torogh Agricultural and Natural Resources Research Station in Khorasan-Razavi province, north-eastern Iran during 2013-2014. This station is located in south-east of Mashhad city with a semi-arid climate, annual precipitation of 260 mm and mean air temperature of 13.5 °C. The soil was classified in Entisols and Aridisols with a physiographic unit of alluvial plain that generally had medium to coarse textures in topsoil. Thirty points with different soil textures and organic carbon contents were selected as experimental plots. In order to measure different properties of the soil, two soil cores (8 cm diameter × 4 cm length cylinder for bulk density and 5 cm diameter × 5.3 cm length cylinder for sandbox measurements) and one disturbed soil sample (for other measurements) were collected from 0-30 cm depth of each plot. After conducting required laboratory analysis and field measurements using standard methods, the soil moisture curve parameters (RETC program), Porosity (POR), Air Capacity (AC), Relative Field Content (RFC) and Integral Water Capacity (IWC) index, were calculated. In this regard, integration calculations were done by Mathcad Prime 3 software. Finally, the relationship between the measured properties and IWC index were analyzed using Pearson correlation coefficient and stepwise multiple linear regression by SAS (9.1) statistical software.

Results and Discussion: Laboratory analysis results showed that the soil texture classes of samples were loam (40%), silt loam (23%), silty clay loam (17%), clay loam (13%), and sandy loam (7%). On average, very fine sand particles were dominant between five size classes of sand and the lowest values were devoted to very coarse sand particles. Soil porosity and air capacity calculation results indicated that on average bulk soil porosity (POR_t) and bulk soil air capacity (AC_t) were 0.46 and 0.20 (cm^3cm^{-3}), respectively. According to the results, RFC of 60% of studied soil samples were lower than 0.6, 7% were higher than 0.7 and only 33% were between 0.6-0.7 (optimal range). IWC index calculations were resulted in 0.13-0.25 (cm^3cm^{-3}) in different soil textures. The highest IWC were related to Loam and Clay Loam textures, respectively. Statistical analyses indicated that there were no significant relationship between soil particles (sand, silt and clay) and organic carbon content with IWC index. The factors of soil bulk density and RFC were negatively correlated with IWC index that means decreasing the soil bulk density and RFC would lead to the reduction of the effects of water uptake limitation factors by increasing the values of weighting functions (IWC calculations), and improvement of soil physical quality. High significant ($P < 0.001$) positive correlation coefficients were observed between IWC index and the factors of soil POR_t, AC_t and soil matrix air capacity (AC_f) in this study. Multiple regression analysis results showed that IWC index could be estimated by the factors of AC_t and POR_t with the determination coefficient of 0.63. The partial determination coefficients indicated that AC_t factor accounted for 50% and POR_t accounted for 13% of IWC index variations.

Conclusion: The results indicated that in medium to coarse-textured soils, IWC index could be estimated using the bulk soil air capacity (AC_t) and bulk soil porosity (POR_t) factors that are derived from soil volumetric water content at saturation and field capacity points.

Keywords: Air capacity, Integral water capacity, Physical index, Porosity, Relative field capacity

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associated Professor of Soil Science Engineering Department, University of Tehran, Karaj, Respectively
(*- Corresponding Author Email: mgorji@ut.ac.ir)
4- Assistant Professor of Khorasan-Razavi Agricultural & Natural Resources Research and Education Centre, Mashhad
5- Assistant Professor of Soil & Water Research Institute, Karaj